

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-018471

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

H02P 5/41

H02P 21/00

(21)Application number : 09-160176

(71)Applicant : OKUMA MACH WORKS LTD

(22)Date of filing : 17.06.1997

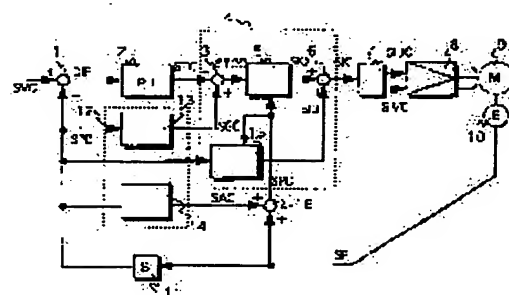
(72)Inventor : NASHIKI MASAYUKI
SATAKE AKIYOSHI

(54) CONTROLLER FOR SYNCHRONOUS MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To control a motor stably and efficiently by calculating a phase compensation amount with reference to a rotor speed calculated from a rotor position, determining a code from the polarity of a torque command value and then determining a phase compensation amount being applied to the rotor position.

SOLUTION: A current command value SIC is subjected to phase distribution through a phase distributor 7 before a phase U current command SIUC and a phase V current command SIVC are delivered to an amplifier 8 (in the case of three-phase, the command values are produced for only two phases because the command value for one remaining phase is determined automatically). A drive current is applied from the amplifier 8 to a motor 9. The motor 9 is fixed with a rotor position detector 10, producing a rotor position SP. The rotor position SP is converted through a differentiator 11 into a rotor speed SPD, which is delivered to the field current operating section 15 in a current command value operating section 15, the gain-correcting section 13 in a correcting section 12 and a phase-correcting section 14, in order to calculate a correction value applied to the motor 9.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.12.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 永久磁石もしくは固定子巻線より得られる界磁と、固定子の電機子電流とにより回転子の回転トルクを得る同期電動機との制御装置であって、前記電動機の回転子位置を検出する手段と、該電動機に電流を流すために、前記回転子位置とトルク指令値より電流指令を算出する電流指令演算部を具備する制御装置において、

回転子位置より回転子速度を算出し、該回転子速度を参照して位相補償量を算出する手段を備え、回転子位置に加える前記位相補償量を演算する位相補償演算部を備えることを特徴とする同期電動機の制御装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の同期電動機の制御装置において、

回転子位置より回転子速度を算出し、該回転子速度を参照してゲイン補償量を算出する手段を備え、トルク指令値に乘じられる前記ゲイン補償量を演算するゲイン補償演算部を備えることを特徴とする同期電動機の制御装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の同期電動機の制御装置において、

回転子速度をパラメータとする制御装置外部より設定可能な関数パターンを持つ位相補償演算部およびゲイン補償演算部を持つことを特徴とする同期電動機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、工作機械や産業機械、電気自動車等に利用される同期電動機の制御装置に関するものであり、特に同期電動機の制御特性を改良する制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の制御ブロック図を 3 相 (U, V, W 相) での制御を例にとり図 8 に示す。上位制御器より速度指令値 SVC が指令され減算器 1 により回転子速度 SPD との差 DIF が演算される。DIF が PI 制御器 2 により電機子電流指令値 STC を電流指令演算部 5 に出力する。また、回転子速度 SPD を参照して界磁電流演算部 8 1 により界磁電流パターンに従い界磁電流指令値 SFC を電流指令演算部 5 に出力する。電流指令演算部 5 は回転子位置 SP (機械角) を参照し、電気角に変換後、電機子電流指令値 STC と界磁電流指令値 SFC をベクトル演算し、電流指令値 SIC を得る。(電機子電流指令値 STC と界磁電流指令値 SFC の位相差は電気角で $\pi/2$ [rad] である。) その後、U 相電流指令値 SIUC とそれとの位相差 $(2\pi)/3$ または $(4\pi)/3$ [rad] である V 相電流指令値 SIVC を演算する。3 相中 2 相が決定されれば、残りの W 相の電流 (SIWC) は決定されるので特に図示しない。各相の電流指令値は増幅器 8 を介して 3 相電流として電動機 9 に印加さ

れ電動機 9 の回転子を回転させる。回転子にとりつけられた回転子位置検出手段である検出器 10 により回転子位置 SP が得られ、電流指令演算部 5 および微分器 12 にフィードバックされる。微分器 12 は回転子位置 SP を微分して回転子速度 SPD として減算器 1 および界磁電流演算部 8 1 に出力する。以上の動作からわかるように、電流指令値 SIC (相分配後、SIUC、SIVC) は界磁電流指令値 SFC と電機子電流指令値 STC をベクトル加算して作られる。また制御する際、回転子速度、回転子の界磁 (ベクトル図でいう Id 成分; 永久磁石の場合も固定界磁電流成分を流している) と等価的にみなすことができる) に応じた誘起電圧が固定子巻線端子間に生じる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来技術の制御装置を使用した場合、回転子速度、回転子の界磁 (ベクトル図でいう Id 成分; 永久磁石の場合も固定界磁電流成分を流している) と等価的にみなすことができる) に応じた誘起電圧が固定子巻線端子間に生じるため、基底回転数 (界磁弱めを行わない領域の回転数) 以上の回転数になった場合、端子間電圧が電源電圧を上回り、制御装置 (特に増幅器) からの電力注入の効率が低下する。その結果、大きな電流指令値に対して実電流が振幅、位相共に追従しなくなる。特に、リラクタンス型電動機を界磁電流と電機子電流とを別々に演算するベクトル制御の場合、位相が遅れるということは実際に流れる合成電流の電機子電流成分より位相が $\pi/2$ 遅れている界磁電流成分の比率が増加することとなり、界磁弱め制御を行っているにも関わらず効果がなく、また電機子電流成分が低下するため、思うようなトルクが得られないという問題があった。巻線のターン数が多い場合 (= 基底回転数を低く設計した場合など) に、巻線インダクタンスが大きくなり、その結果回転数が高くなると制御を行う際の電流の周波数が高くなるので、インピーダンス $Z = R + j\omega L$ (R : 巻線抵抗、 ω : 角周波数、 L : 巻線インダクタンス) も増加する。そのため巻線による電圧降下が増大し、有効に利用される電圧が低下するの位相遅れの原因となる場合がある。また、巻線インダクタンスが大きくなるということは、電流の応答時定数 ($t = L/R$ sec) が長くなることとなり、高回転時の周波数の高い電流指令の変化に追従できないことになる為、このことも位相遅れおよび振幅の追従遅れの原因となっている。本発明は上述した事情から成されたものであり、簡単な構成で安定して効率の良い電動機の制御を実現させることができる同期電動機の制御装置を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の上記目的は、永久磁石もしくは固定子巻線より得られる界磁と、固定子の電機子電流とにより回転子の回転トルクを得る同期電

動機の制御装置であって、前記電動機の回転子位置を検出する手段と、該電動機に電流を流すために、前記回転子位置とトルク指令値より電流指令を算出する電流指令演算部を具備する制御装置において、回転子位置より回転子速度を算出し、該回転子速度を参照して位相補償量を算出する手段を備え、トルク指令値の極性により符号を決定した後、回転子位置に加える前記位相補償量を演算する位相補償演算部を備え、回転子位置より回転子速度を算出し、該回転子速度を参照してゲイン補償量を算出する手段を備え、トルク指令値の極性により符号を決定した後、トルク指令値に乘じる前記ゲイン補償量を演算するゲイン補償演算部を備え、そして、位相補償演算部およびゲイン補償演算部内に、回転子速度をパラメータとする制御装置外部より設定可能な関数パターンを具備することで達成される。本発明にあつては、回転子速度により電動機に印可する電流の位相およびゲインの補正値を算出し、電流指令値に加算することにより効率の良い制御装置が得られた。また、安定した制御が行えるという利点も得られた。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、添付図面をもとに本発明の実施形態を説明する。なお、特に断らない限り、同記号、番号のものは同機能、性能を有するものである。図1は本発明の実施形態の具体例である。上位制御器より速度指令値SVCが指令され減算器1により回転子速度SPDとの偏差DIFが演算される。偏差DIFはPI制御器2によりトルク指令値STCとして電流指令演算部4に出力される。電流指令演算部4には電機子電流演算部5と界磁電流演算部15が備えられており、電機子電流演算部5は回転子位置SPと位相補正值SACを加算器16で演算した補正後回転子位置SPCを参照し、トルク指令STCより電機子電流指令値SIQが加算器6に出力される。また、界磁電流演算部15は回転子速度SPDと補正後回転子位置SPCを参照し、界磁電流指令値SIDを加算器6に出力する。加算器6は、電機子電流指令値SIQと界磁電流指令値SIDをベクトル演算し、電流指令値SICを生成し相分配器7に出力する。なお、電機子電流指令値SIQと界磁電流指令値SIDの位相は電気角で $\pi/2$ ずれている。電流指令値SICは相分配器7で相分配され、U相電流指令値SIUCおよびV相電流指令値SIVCを増幅器8に出力する（3相の場合、他の2相が決定されれば残りの1相が決定されるため、2相のみの指令値を作成する。特に限定するわけではなく、W相電流指令SIWC（図示なし）を指令しても良い）。増幅器8からは電動機9に駆動電流が印加される。電動機9には回転子位置を検出する検出器10が取り付けられており、回転子位置SPを出力する。回転子位置SPは微分器11により回転子速度SPDに変換され、電流指令値演算部4内4の界磁電流演算部15、及び補正部12のゲイン補正部13、位相補

正部14に出力される。

【0006】図2は補正部12の関数パターンの例である。補正部12内には、ゲイン（振幅）を補正するゲイン補償演算部13と、電流位相を補正する位相補償演算部14とが備えられている。ゲイン補償演算部13には回転子速度SPDをパラメータとしてゲイン補正係数SGCを出力するような関数パターン（a）が設定される。また位相補償演算部は回転子速度SPDをパラメータとして位相補正值SACを出力するような関数パターン（b）が設定される。関数パターンの設定は外部より設定される方式に限定するものではなく、制御器内部メモリにあらかじめ関数式、またはデータマップとして持っていて良い。

【0007】図（a）は回転子速度SPDに対してゲイン補正係数SGCを出力するような関数パターンであり、低回転時、補正係数1.0でゲインの補正がないが、高回転時の応答遅れに対するゲインの低下を補正する為に、 $SGC > 1.0$ になっている。この関数パターンは使用の方法によっては $SGC < 1.0$ （ゲイン低下）に設定することも可能であり、目的の制御方法によって任意に設定可能である。図（b）は回転子速度SPDに対し位相補正值SACを出力する関数パターンであり、低回転時の位相補正值は小さな値をとるが、高回転時の位相遅れを補正するために、回転子速度SPDが大きくなるほど位相補正值SACが大きくなるようなパターンに設定してある。この関数パターンも任意に設定可能であり、位相遅れが生じないような電動機を使用する場合には、位相補正值0（つまりフラットな関数）に設定も可能である。

【0008】図3には、本制御（ベクトル演算による制御）の基本的な概念図を示す。界磁電流指令SID（Id）31と、それより位相が $\pi/2$ または $(3/2)\pi$ [rad] ずれた電機子電流指令SIQ（Iq）32をベクトル合成して、電流指令SIC（Io）33を演算する。実際に流す電流は、合成電流SIC（Io）33である。次に図4～6に従来技術の制御装置の不具合（電流の位相遅れおよび振幅低減について）を説明する。図4に位相遅れによる不具合を、ベクトル図を使用して説明する。本制御方法では、界磁電流指令Id（d軸電流成分）と電機子電流成分Iq（q軸電流成分）をベクトル演算した合成電流Ioを増幅器に指令して電動機を駆動するのは、図3で説明した通りである。電流指令（合成電流）Ioに対し $\Delta\theta$ の位相遅れが発生した場合の実電流をIres42とすると、指令値に対して見かけ上の界磁電流成分Idr44は ΔId だけ増加し、電機子電流成分Iqr46は ΔIq だけ減少することになる。界磁電流成分が増加するということは、端子間電圧が上昇するということであり、特に界磁弱め制御を行う場合は、界磁弱めを行っているにも関わらず界磁弱め効果がなくなってしまう。また、電機子電流成分が低下するこ

5

とは、出力トルクが低下する為、制御対象の電動機が希望する指令通りの動作をしないという不具合が発生する。

【0009】図5に制御中のアナログ（連続）電流指令51を与えた場合の波形の具体例を示す。低速で制御を行う場合、ほぼ指令通りに実電流52が流れており、遅れ時間 $\Delta t \approx 0$ であることが実験で確認されている。高速回転で制御を行う場合、図5に示されるように指令値に対して位相遅れ $\Delta \theta$ が発生し、振幅も低下していることがわかる。

【0010】図6にマイクロプロセッサで制御中のデジタル（離散）電流指令61を与えた場合の波形の具体例を示す。（a）に低回転時の電流指令61及び実電流波形62、（b）に高回転時の電流指令63及び実電流波形64を示す。なお、電流指令はデジタルで表現してあるが実電流は増幅器がアナログなため、波形もアナログで表現するものとする（ただし、この組み合わせに限定するものではない）。（a）の低速回転時は、電流指令値61のサンプリング数が多いため、正弦波を滑らかに表現することができる。そのため、実電流62もほぼアナログ指令の場合に近く追従している（ただし、厳密にはサンプリングの際に発生する階段状の波形（高い周波数成分を含む）に対して、追従遅れが発生しているが指令値に対しては問題のないレベルである）。（b）の高速回転時は、図に示すように電流指令値63が階段状であるが、ほぼ矩形波に近くなってしまっている。これは電流の周波数が制御周波数に近くなっている為で、マイクロプロセッサの処理時間に限界があり正弦波を表現するサンプリング数が少なくなってしまう。矩形波のような周波数の高い波形に対して、インダクタンスによる時定数（ $t = L/R$ ；ただし、 L は巻線インダクタンス、 R は巻線抵抗である）や増幅器や制御器特有の時定数などが原因で、実電流波形64は実際の制御よりも遅れが大きくなってしまふことになる。この例の波形の場合、電気角で $\pi/4$ 近く遅れており、実電流の電機子電流成分がほとんどゼロに近い状態であり、また界磁電流成分は指令よりも大きくなっているため、端子間誘起電圧が電源電圧を上回り制御不能の状態に陥ってしまう。

【0011】図7に本発明での高回転時（デジタル）電流制御の波形を示す。高速回転時の電流指令の位相およびゲインを補正した場合の電流波形を示す。波形73は、実際に流れてほしい電流指令値、波形74は従来技術での電流指令値に対する応答波形（位相遅れ、振幅低減が発生している）である。また、波形71は本発明により位相・ゲイン補正を行った場合の電流指令値であり、波形72はその指令値に対する応答である。実際に流れてほしい電流波形73と補正後の実電流波形72が振幅・位相共にほぼ一致していることがわかる。このように、位相・ゲインを回転数に対して補正することで、

6

界磁電流成分と電機子電流成分を設計通りの制御が行えるようになり、制御不能に陥る等の不具合が回避できる制御装置になった。

【0012】

【発明の効果】以上のように、本発明で示す同期電動機の制御装置によれば、回転子速度を参照して変化するゲインおよび位相補償演算部を内蔵する補正部を具備したため、電動機巻線のインダクタンスや増幅器、制御器に起因する高速回転時に発生する電流指令に対する実電流の位相遅れおよび振幅低減が減少し、実際に流すべき電流位相および振幅の電流により制御が行える様になったため、制御不能に陥る等不具合が減少した。さらに、位相遅れによるトルク減少などの非線形なトルク特性になるのを、線形性の良い特性を持つ電動機のように制御ができるようになった。なお、本発明は前述の第1図から第6図に示した本発明の実施例に限定されるものではなく、その主旨を逸脱しない範囲で下記のような変形を行なってもよい。

（1）本実施形態では、界磁電流指令と電機子電流指令をベクトル演算して電流指令とする制御方法について説明したが、電流指令の位相（動作角）をトルク指令値の極性を判別して動作角の正負を決定後、ベクトル制御のq軸に相当する軸より動作角（符号付き）を移行することで、ベクトル制御と同等に制御する方法にも有効である。

（2）本実施形態では、回転子を持つ電動機について説明したが、可動子を持つ構造のリニア型電動機に適用しても良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の同期電動機の制御装置の実施形態を示すブロック図である。

【図2】 本発明の同期電動機の制御装置に具備される補正部の関数パターンの一例である。

【図3】 本発明の同期電動機の制御装置の電流演算のベクトル図である。

【図4】 従来技術の電流指令および実電流の例を示すベクトル図である。

【図5】 従来技術のアナログ波形の場合の電流指令および実電流波形の例を示す説明図である。

【図6】 従来技術のデジタル波形の場合の電流指令および実電流波形の例を示す説明図である（（a）低速時、（b）高速時）。

【図7】 本発明と従来技術の場合の電流指令および実電流波形の例を示す比較説明図である。

【図8】 従来の同期電動機の制御ブロック図の例である。

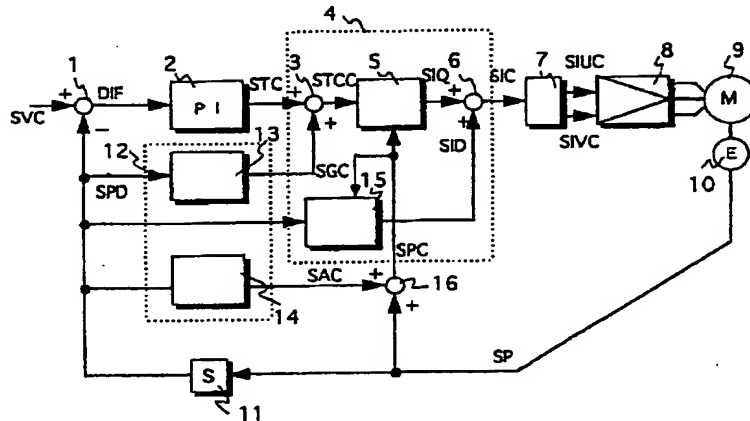
【符号の説明】

1 減算器、2 PI制御部、3 加算器、4 電流指令演算部、5 電機子電流演算部、6 加算器、7 相分配器、8 増幅器、9 電動機、10 検出器、11

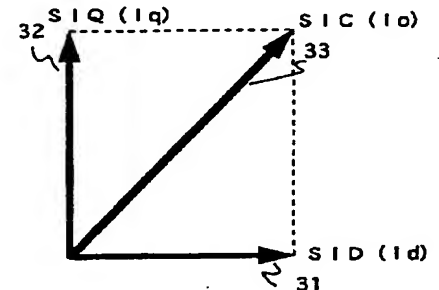
微分器、12 補正部、13 ゲイン補償演算部、14 位相補償演算部、15 界磁電流演算部、16 加算器、21 関数パターン、22 関数パターン、31 界磁電流指令ベクトル、32 電機子電流指令ベクトル、33 合成電流指令ベクトル、41 合成電流指令ベクトル、42 合成実電流ベクトル、43 界磁電流指令ベクトル、44 界磁実電流ベクトル、45 電機子

電流指令ベクトル、46 電機子実電流ベクトル、51 アナログ電流指令波形、52 アナログ実電流波形、61 デジタル電流指令波形、62 実電流波形、63 デジタル電流指令波形、64 実電流波形、71 補正後デジタル電流指令波形、72 補正後実電流波形、73 補正前デジタル電流指令波形、74 補正前実電流波形、81 界磁電流指令演算部。

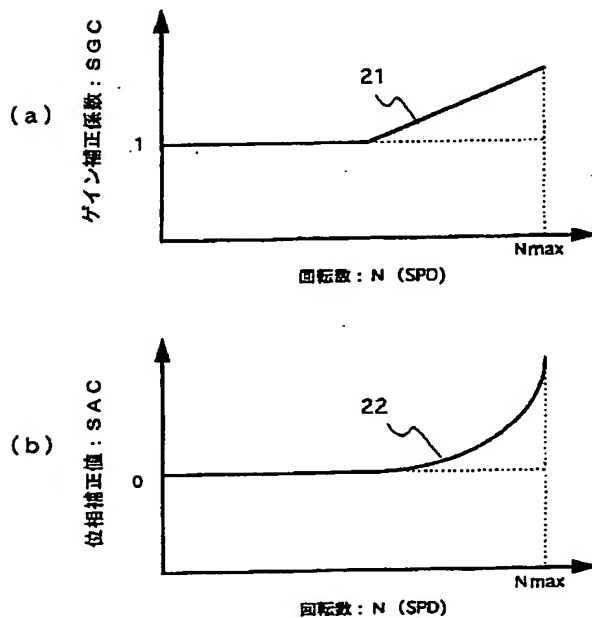
【図1】



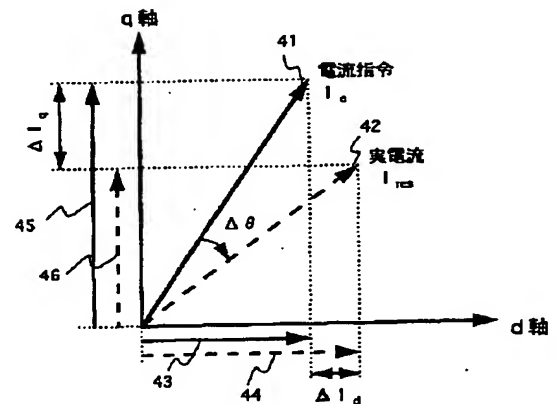
【図3】



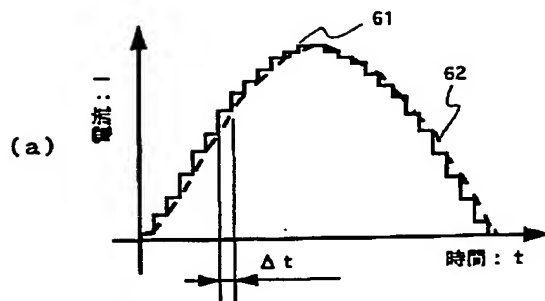
【図2】



【図4】

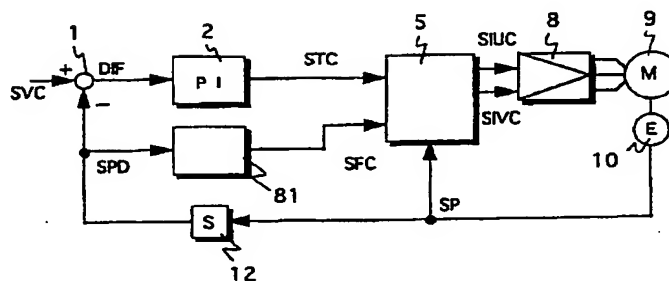


【图 6】



(b)

Figure 1(b) shows a timing diagram for a signal labeled "64". The horizontal axis is labeled "時間: t" (Time: t). The signal is a step function that transitions from a low level to a high level. A dashed line indicates a delay t_{delay} from the start of the transition to the point where the signal reaches the high level. A horizontal double-headed arrow labeled Δt indicates the duration of the transition. The signal is labeled "64" in the upper right corner.



BEST AVAILABLE COPY